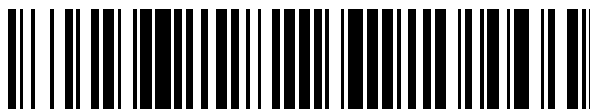


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 578**

51 Int. Cl.:

H04L 12/40 (2006.01)
H04L 12/43 (2006.01)
H04L 12/403 (2006.01)
H04L 12/413 (2006.01)
H04L 12/801 (2013.01)
H04L 12/851 (2013.01)
H04L 12/853 (2013.01)
H04L 12/861 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.07.2011** **PCT/EP2011/062400**
87 Fecha y número de publicación internacional: **26.01.2012** **WO12010619**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2011** **E 11736337 (4)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019** **EP 2596602**

54 Título: **Red de transmisión y comunicación de tramas**

30 Prioridad:

20.07.2010 EP 10170127

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.02.2020

73 Titular/es:

ABB SCHWEIZ AG (100.0%)
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden, CH

72 Inventor/es:

KIRRMANN, HUBERT y
TOURNIER, JEAN-CHARLES

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 744 578 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Red de transmisión y comunicación de tramas

Campo de la invención

- 5 La invención se refiere a sistemas de comunicación industrial que utilizan redes de comunicación basadas en Ethernet para controlar procesos críticos en el tiempo en control de vehículos, control de conducción o automatización de subestaciones.

Antecedentes de la invención

- 10 Los Sistemas de Control de Procesos o los Sistemas de Automatización Industrial protegen, controlan y vigilan los procesos en plantas industriales, por ejemplo, fabricación de bienes, transformación de sustancias, o generación de energía. También vigilan y controlan sistemas primarios extendidos como energía eléctrica, sistemas de suministro de agua o gas, o sistemas de telecomunicaciones, incluyendo sus respectivas subestaciones. Un sistema de automatización industrial generalmente tiene un gran número de controladores de proceso distribuidos en una planta industrial o sobre un sistema primario extendido, e interconectados de forma comunicativa mediante un sistema de comunicación industrial.

- 15 Las subestaciones en redes de potencia de alta y media tensión incluyen dispositivos primarios tales como cables eléctricos, líneas, barras de líneas de transmisión, dispositivos de conmutación, transformadores de potencia y transformadores de instrumentos, que generalmente están dispuestos en parques y/o bahías de conmutadores. Estos dispositivos primarios se operan de manera automatizada mediante un sistema de Automatización de Subestaciones (SA). El sistema SA comprende dispositivos secundarios, denominados Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED), responsables de la protección, el control y la vigilancia de los dispositivos primarios. Los IED
20 pueden asignarse a niveles jerárquicos, tales como el nivel de estación, el nivel de bahía y el nivel de procesos, donde el nivel de procesos está separado del nivel de bahía por una así llamada interfaz de procesos. El nivel de estación del sistema SA incluye una Estación de Trabajo de Operador (OWS) con una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) y una puerta de entrada a un Centro de Control de Red (NCC). Los IED en el nivel de bahía, que también se
25 pueden denominar unidades de bahía, a su vez están conectados entre sí, así como a los IED en el nivel de estación mediante una línea de transmisión entre bahías o de estación que sirve con el propósito de intercambiar comandos e información de estado.

- Se ha introducido una norma de comunicación para la comunicación entre los dispositivos secundarios de una subestación como parte de la norma IEC 61850 titulada "communication networks and systems in substations"
30 ("redes y sistemas de comunicación en subestaciones"). Para mensajes no críticos en el tiempo, IEC 61850-8-1 especifica el protocolo de Especificación de Mensajes de Fabricación (MMS, ISO/IEC 9506) basado en una pila de protocolo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) reducidos con el Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y el Protocolo de Internet (IP) en la capa de transporte y de red, respectivamente, y Ethernet como medio físico. Para mensajes basados en eventos críticos en el tiempo, IEC 61850-8-1 especifica los Eventos de Subestaciones
35 Orientados a Objetos Genéricos (GOOSE) directamente sobre la capa de enlace Ethernet de la pila de comunicaciones. Para señales de cambio muy rápido en el nivel de procesos, tales como tensiones o corrientes analógicas medidas, IEC 61850-9-2 especifica el servicio de Valor de Muestra (SV), que al igual que GOOSE se basa directamente en la capa de enlace Ethernet (Capa 2 en OSI). Por lo tanto, la norma define un formato para publicar, como mensajes de multidifusión en un Ethernet industrial, mensajes basados en eventos y datos de
40 medición digitalizados de sensores de corriente o tensión en el nivel de procesos.

- La solicitud de patente EP-A 2148473 se refiere a aplicaciones de automatización industrial de misión crítica, tales como sistemas de control de proceso o de accionamiento, basados en una red de comunicación de tipo anillo con una pluralidad de nodos de conmutación y que operan con enlaces dúplex completos. La comunicación de datos en tiempo real para sistemas de automatización críticos en el tiempo y de disponibilidad crítica requiere tanto una
45 resiliencia constante contra fallos en la red como una entrega determinista de datos críticos en el tiempo. Se puede proporcionar una tolerancia constante contra fallos de enlace en la red dando cada nodo dos puertos de comunicación y permitiendo que los nodos envíen tramas con una carga útil idéntica en ambos puertos, como se ha especificado por ejemplo, en la Cláusula 5 de la norma IEC 62439-3 (denominada Redundancia Constante de Alta Disponibilidad (HSR)). Por lo tanto, para que cada mensaje se envíe en una red en anillo ejemplar, una fuente y una
50 trama duplicada se transmiten en direcciones opuestas, siendo ambas tramas retransmitidas por los otros nodos de la red en anillo hasta que finalmente regresan al nodo emisor original. Como consecuencia, la carga de red se duplica aproximadamente con respecto a una red en anillo convencional, pero el nodo de destino recibirá los datos después de un retardo de transmisión máximo que es igual a la ruta más larga posible del anillo. En el estado libre de fallos, el nodo de destino recibe así dos tramas redundantes con los mismos contenidos, con un cierto sesgo de tiempo debido al hecho de que, si una trama se recibe directamente desde el nodo contiguo, la otra trama circula
55 alrededor de todo el anillo. Las tramas redundantes se pueden identificar por un número de secuencia, por lo que un nodo puede detectar duplicados y solamente reenviar la primera trama o trama anterior de las dos tramas a sus protocolos de capa superior y descarta la segunda trama o trama posterior.

Una transmisión determinista de datos garantiza que los datos se entreguen en un estado libre de fallos con un retardo máximo entre el momento en que están listos para la transmisión en el origen y el momento en que son recibidos por su destino final, a pesar de posibles errores o retardos de comunicación. Una transmisión de datos determinista requiere que se asigne previamente suficiente ancho de banda. Se espera que cada nodo transmita sus datos con una longitud fija a una frecuencia fija que se define tras la configuración de toda la red, ocupando así una porción fija del ancho de banda. Se ha de agregar un retardo de propagación cuando se desplaza a lo largo del medio de transmisión, así como un retardo de reenvío para los conmutadores de cruce y que excede fácilmente el retardo de propagación, a la duración de la propia trama. Por lo tanto, una ocupación ejemplar en el peor de los casos de un medio de transmisión que conecta 5 nodos, transmitiendo cada nodo a 1 kHz tramas de 2500 bits a 100 Mbit/s más 5 μ s de tiempo de propagación (dando como resultado 30 μ s de duración por trama), es al menos igual a $5 \times 30 \times 10^{-6} \times 10^3 = 15\%$.

En redes de comunicación en tiempo real, tal como IEC 61850-9-2, el tráfico se transporta mediante tramas R enviadas periódicamente, donde "R" significa "regular" o "en tiempo real". Por el contrario, los datos flexibles en tiempo real, no críticos están sujetos a requisitos de tiempo informales, y se espera que cumplan los retardos de entrega solamente con una cierta probabilidad. Este tráfico no crítico es transportado por "tramas S", donde "S" significa "esporádico" o "tiempo flexible". La capacidad mínima de red necesaria para las tramas R se puede estimar en el momento de la ingeniería, por ejemplo, a partir del archivo de Descripción de la configuración de subestación (SCD) especificado en IEC 61850. El archivo SCD indica la frecuencia con la que necesitan transmitirse las tramas SV y GOOSE críticas en el tiempo y qué tamaño tienen, y comprende una subsección de comunicación que define la topología de red y el número de conmutadores. Sin embargo, los retardos de comunicación para las tramas R pueden exceder los números calculados en el momento de la ingeniería, ya que las colisiones tienen lugar dentro de un conmutador y la trama R, a pesar de su prioridad más alta, debe ponerse en cola mientras que se está transmitiendo una trama S sobre el mismo medio.

La comunicación determinista se proporciona tradicionalmente limitando la tasa de producción en cada nodo de manera que se excluya una sobrecarga, y regulando además el tráfico de manera que se eviten colisiones, utilizando, por ejemplo, una de las siguientes: 1) una asignación de intervalos de Acceso Multiplexado por División de Tiempo (TDMA) activado por un reloj común establecido antes de que pueda tener lugar una comunicación de datos útil; 2) un maestro central que consulta las direcciones de origen en una secuencia predefinida, como por ejemplo, especificado en IEC 61735; o 3) una trama maestra introducida por un dispositivo maestro que se llenará y leerá por todos los dispositivos contribuyentes, tal como el utilizado por EtherCat. Las últimas dos opciones son difíciles de lograr cuando las tramas pueden duplicarse y pueden tomar diferentes caminos. Por lo tanto, el primer método se ha retenido para HSR, proporcionando un TDMA simple basado en reloj sin necesidad de configurar un maestro central o enviar una trama maestra dedicada u otro token.

PROFINET (Profibus.com) distingue entre datos en tiempo no real (NRT), en tiempo real (RT) e isócronos en tiempo real (IRT). PROFINET IRT utiliza una combinación de IEEE 1588, TDMA y conmutadores especializados para lograr un rendimiento en tiempo real difícil. Tras la configuración de la red, se analizan la topología de la red y los datos requeridos de cada dispositivo y se definen ciclos con un período de tiempo real y un período de tiempo no real. A cada dispositivo IRT se le asigna un intervalo de tiempo para comunicarse durante el período de tiempo real. Ya que todos los dispositivos IRT se sincronizan utilizando IEEE 1588, solo un dispositivo IRT a la vez envía paquetes. Los conmutadores con paquetes de memoria intermedia ASIC especiales los envía desde dispositivos no IRT durante el período de tiempo real y los transmiten durante el período de tiempo no real.

En conexión con esto, el papel HANZALEK Z Y COL.: "Profinet IO IRT Message Scheduling", REAL-TIME SYSTEMS, 2009. ECRTS '09. 21ST EUROMICRO CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 1 de Julio de 2009 (2009-07-01), paginas 57-65, XP031487718, ISBN: 978-0-7695-3724-5 describe un algoritmo para crear un horario estático de la comunicación Profinet IO IRT (Isócrono en Tiempo Real), que es un protocolo Ethernet industrial estandarizado en IEC 61158. La planificación de clase 3 IRT del ciclo de comunicación se calcula previamente de manera que todos los datos isócronos críticos en tiempo pueden intercambiarse entre todos los nodos de una topología de árbol. A continuación el tráfico de clase 2 y clase 1/ de tiempo no real es reenviado según IEEE 803 reenviando reglas.

El documento EP 1734700 A1, describe una transmisión de tramas Ethernet que puede interrumpirse para transmitir una trama que tiene una prioridad más alta. La interrupción se señala mediante un carácter de control Ethernet. La transmisión de la trama interrumpida se puede continuar después. Otro carácter de control se envía para iniciar la continuación de la trama interrumpida.

Descripción de la invención

Por lo tanto, un objetivo de la invención es proporcionar una comunicación determinista que ahorre ancho de banda en una red de comunicación. Este objetivo se logra mediante un método de transmisión de tramas y una red de comunicación según las reivindicaciones independientes. Las realizaciones preferidas son evidentes a partir de las reivindicaciones de patente dependientes, en donde la dependencia de la reivindicación indicada no será interpretada como que excluye otras combinaciones de reivindicaciones significativas.

Según la invención, en una red de comunicación que interconecta una pluralidad de nodos sincronizados, las tramas regulares que comprenden datos críticos en el tiempo se transmiten de forma periódica o cíclica, y las tramas esporádicas se transmiten de forma no periódica u ocasional. En particular, cada nodo de la pluralidad de nodos transmite una trama regular al comienzo de un período de transmisión común y sincronizada entre todos los nodos.

5 A continuación, un nodo recibe tramas regulares de su primer nodo contiguo, y las reenvía dentro del mismo período de transmisión y con el menor retardo, a un segundo nodo contiguo. Además, el nodo retrasa activamente la transmisión de cualquier trama esporádica, ya sea que se origine desde una aplicación alojada por el propio nodo o bien sea recibida desde un nodo contiguo, hasta que se complete el reenvío de todas las tramas regulares recibidas.

10 En una variante preferida de la invención, la transmisión de las tramas esporádicas se retrasa hasta que se completa una fase regular de longitud predeterminada que posibilita la transmisión de cualquier trama regular a su nodo de destino. Alternativamente, la transmisión de las tramas esporádicas se retrasa hasta que se observa el final o la finalización de una fase regular. A modo de ejemplo, la fase regular se considera completada tan pronto como la transmisión de las tramas regulares se ha mantenido en silencio durante un tiempo de silencio mínimo predeterminado que excede un espacio estándar entre tramas entre dos tramas regulares sucesivas.

15 En una realización ventajosa de la invención, el nodo verifica o comprueba, antes de la transmisión de la trama esporádica, si la transmisión de esta última puede completarse antes del comienzo del siguiente período de transmisión. En caso negativo, la transmisión de la trama esporádica se retrasa hasta el siguiente período de transmisión.

20 Según la Cláusula 6 de IEC 62439 (Protocolo de Redundancia Paralelo PRP) y la Cláusula 5 de IEC 62439-3 (HSR), cada nodo tiene dos puertos de comunicación y envía tramas con una carga útil idéntica sobre ambos puertos. La topología preferida de la Cláusula 5 de IEC 62439-3 es una topología en anillo, en la que una trama y una trama duplicada se desplazan en direcciones opuestas hasta que el nodo de origen o destino las elimina. En el contexto del protocolo HSR (Cláusula 5 de IEC62439-3), la invención aprovecha además el hecho de que una trama y su trama duplicada se identifican como tales basándose en una longitud de trama incluida en un identificador de redundancia de ambas tramas. En este caso, la decisión de iniciar o no la transmisión de una trama esporádica redundante se basa en una longitud de trama de la trama esporádica como se lee en su identificador de redundancia.

25 En resumen, la transmisión de tramas regulares por todos los nodos comienza en un momento predeterminado, y las tramas regulares puestas en cola son reenviadas o retransmitidas, por cualquier nodo, en una sucesión cercana, asegurando así que el ancho de banda se optimiza y todo el tráfico regular se acelera dentro del fase regular del período de transmisión en curso, generando así un intervalo de longitud suficiente para la transmisión de tramas esporádicas ocasionales antes del comienzo del siguiente período de transmisión.

Breve descripción de los dibujos

35 El objeto de la invención se explicará en detalle en el siguiente texto con referencia a realizaciones ejemplares que se ilustran en los dibujos adjuntos, donde:

La Figura 1 representa una red de automatización del estado de la técnica con una topología de anillo,

La Figura 2 representa la operación básica de un anillo de cuatro nodos,

La Figura 3 representa una sucesión de tramas en diferentes ubicaciones dentro de un nodo, y

La Figura 4 representa una estructura de nodo de un nodo de conmutación ejemplar.

40 Descripción detallada de realizaciones preferidas

La Figura 1 representa una red de automatización del estado de la técnica con una topología de anillo ejemplar, en la que todos los nodos de conmutación (1-9) dentro del anillo, tales como dispositivos de protección, control y medición (1-4), estación de trabajo de supervisión (5), reloj maestro (6), enlaces de telecontrol redundantes (7, 8) así como nodos intermedios (9) para dispositivos que no son de anillo (11a-11c) incluyen un elemento (103) de conmutación que es capaz de reenviar tramas (35a, 35b) de un puerto (101a, 101b) a otro, asegurando la circulación de tramas alrededor del anillo; El elemento de conmutación de un nodo emisor (1) puede inyectar una trama que se le pasa desde las capas (106) de protocolo más altas a través de la entidad (105) de la capa de enlace bien en una o bien en ambas direcciones (34a, 34b). El elemento de conmutación de un nodo de destino (4) es capaz de recibir tramas (36a, 36b), ya sea desde cualquier dirección del anillo y pasarlas a sus propios protocolos de capa superior.

45 En HSR según la Cláusula 5 de IEC 62439-3, un nodo siempre envía una trama recibida desde sus protocolos de capa superior a través de sus dos puertos, los dos duplicados de la trama circulan sobre el bus en dirección opuesta hasta que alcanzan su remitente original, y los receptores pasan solamente la trama anterior de un par a sus protocolos de capa superior y descartan el duplicado.

55 La Figura 2 representa la operación básica de un anillo de cuatro nodos (1-4) según la presente invención. En un punto común en el tiempo derivado por ejemplo desde sus relojes sincronizados, todos los nodos envían dos tramas

R con datos críticos en el tiempo recibidos desde una aplicación de nivel superior respectiva alojada o conectada al nodo, mediante dos puertos (A, B) respectivos a dos nodos contiguos respectivos. Por razones de legibilidad, la siguiente descripción está restringida a cuatro tramas R (R1-R4) transmitidas originalmente mediante el puerto B de uno de los cuatro nodos (1-4), respectivamente. En la parte inferior de la Figura 2, estas tramas se representan como rectángulos y se distinguen mediante sombreado vertical, oblicuo y horizontal correspondiente al nodo de origen. Los cuatro nodos (1-4) transmiten sus datos críticos en el tiempo como tramas R (R1-R4) al comienzo de un Período de Transmisión TP o ciclo. Como consecuencia de ello, un nodo pone en cola la trama recibida desde su nodo contiguo mientras que envía su propia trama o cualquier trama previamente recibida. A continuación, el nodo envía o retransmite las tramas R puestas en cola en una sucesión cercana, asegurando así que el ancho de banda se optimiza y todo el tráfico R se acelera dentro del mismo período de transmisión. En la parte inferior de la Figura 2, se indican tres secuencias de las cuatro tramas observadas dentro del período de transmisión en tres puntos diferentes (OP1-OP3) de la red. En el primer punto de observación OP1 entre el nodo 2 y el nodo 3, primero se observa la trama R2, seguida de la trama R1 que ha sido enviada previamente desde el nodo 1 al nodo 2 y se ha puesto en cola en el nodo 2 mientras que se ha transmitido la trama R2. Con cierto retardo debido a la ruta de transmisión más larga, las tramas R4 y R3 siguen en OP1 y concluyen una fase regular o periódica RP del período de transmisión. En el segundo punto de observación OP2 entre el nodo 3 y el nodo 4, el orden de las tramas es diferente, observándose primero la trama R3, seguida de las tramas R2 y R1, y finalmente la trama R4. En el tercer punto de observación OP3 entre el nodo 4 y el nodo 1, el orden de las tramas es R4-R3-R2-R1. En el siguiente período de transmisión TP2, el orden de las tramas R circuladas durante este TP y observadas en OP1 a OP3 es el mismo que en el período TP1 anterior.

Después de la retransmisión, en cada uno de los cuatro nodos, de la última de las cuatro tramas R, se termina la fase regular para las tramas regulares o en tiempo real, y se produce una fase SP esporádica para las tramas esporádicas. El comienzo de la fase esporádica se puede predeterminar en función del número, la longitud y el retardo de propagación de las tramas R transmitidas durante la fase regular, o puede ser activado por una cola de tramas R en un nodo vacío durante un retardo de tiempo mínimo. La puesta en cola mencionada anteriormente de las tramas R en todos los nodos genera una ranura continua para los mensajes esporádicos o periódicos al final del período de transmisión. Por consiguiente, cada nodo impide activamente que las tramas S recibidas durante la fase regular desde una aplicación de nivel superior, se transmitan antes del final de la fase regular. En la Figura 2, en el primer período de transmisión TP1, la trama S S2 que se origina desde el nodo 2 se observa al comienzo de la fase esporádica en el punto de observación OP1. A medida que S2 está siendo reenviada por el nodo 3 en un modo de "corte directo" con un retardo mínimo, se observa S2 poco después en OP2 y OP3. En la fase esporádica del siguiente período de transmisión TP2, el nodo 3 transmite la trama S3 esporádica, que después se observa, en este orden, en los puntos de observación OP2, OP3, OP1.

Además, mantener el período para las tramas R requiere que una trama S no se pueda transmitir a menos que haya suficiente tiempo para completar esta transmisión antes de que comience la siguiente fase regular. Si un nodo recibe una trama S durante una Fase Esporádica SP para transmisión, donde la longitud de esta trama S no permite finalizar la transmisión durante la parte restante de la fase esporádica, se retrasa hasta el comienzo de la fase esporádica del siguiente período de transmisión. La longitud de la fase esporádica tiene así que ser elegida para proporcionar el tiempo suficiente para transmitir la trama S más larga posible. Como inconveniente, esto impide utilizar el ancho de banda al 100%. Si las tramas S se clasifican según su longitud, se puede introducir una Fase de Protección GP virtual de clase al final de cada fase esporádica, durante la cual no se inicia la transmisión de una trama S correspondiente. Esto se representa en la Figura 2, donde la Fase de Protección GP1 en TP1 coincide con la longitud de S2, lo que implica que no se libera ninguna trama S con la misma longitud que S2 para la transmisión durante la GP1. En TP2, la retransmisión de S3 por el último nodo 2 en el anillo comienza antes que GP2, pero solo se completa durante GP2. En cualquier caso, ninguna transmisión o reenvío de una trama S, por cualquier nodo de la red, está en curso al comienzo de una fase regular. Por consiguiente, no hay necesidad de interrumpir la transmisión de las tramas S.

Como el tamaño de las tramas normalmente no está disponible en el encabezado de una trama Ethernet, las tramas S se colocan en una memoria intermedia de almacenamiento y reenvío para calcular su tamaño. Sin embargo, las tramas según el protocolo HSR llevan un campo de longitud en su encabezado y, por lo tanto, su longitud se puede indicar de manera precisa sin el almacenamiento previo en la memoria intermedia. En cualquier caso, el puerto de envío determina la longitud de la trama y decide enviarlo de inmediato o solamente en la siguiente fase esporádica.

Como ejemplo numérico para el rendimiento, suponiendo que cada nodo envía una trama de longitud mínima de 64 octetos, equivalente a $64 \times 8 = 512$ bits o $5 \mu s$ a una velocidad de red de 100 Mbit/s (o $0,5 \mu s$ a 1 Gbit/s) con un espaciamiento entre tramas a un mínimo de $0,96 \mu s$. Una trama no crítica en el tiempo (trama S), tal como una trama TCP/IP, puede tomar hasta 1522 octetos y durar unos $122 \mu s$ (o $12,2 \mu s$ a 1 Gbit/s). Con un período base de $250 \mu s$ correspondiente a una frecuencia de envío más alta de 4 kHz (o $25 \mu s$ y 40 kHz a 1 Gbit/s), hay espacio suficiente para una longitud máxima de trama S y trama R de 21 dispositivos. Utilizando tramas de 61850-9-2 SMV de tamaño máximo (160 octetos) se reduce la frecuencia de envío más alta a 2,5 kHz ($25 \mu s$ a 1 Gbit/s).

La Figura 3 representa una sucesión de tramas en diferentes lugares dentro del nodo 2 ejemplar. La línea superior representa las tramas listas para enviar en la siguiente fase periódica, mientras que la segunda línea representa las tramas recibidas por el puerto de entrada del nodo (puerto A), y la línea inferior representa las tramas en el puerto de

salida (puerto B). La trama doméstica R2 del nodo se reenvía al puerto B con un cierto retardo de envío Δs . Ya que el tiempo para enviar una trama (12 μs) es largo con respecto al tiempo de propagación entre dos nodos (1 μs , correspondiente a una distancia de 200 m), la trama R R1 del nodo 1 contiguo, activada en el mismo momento por el reloj común, llegará al nodo 2 mientras este nodo está transmitiendo su propia trama R R2. El nodo a continuación agrega la trama R1 a su propia trama R2 con el espacio mínimo entre tramas Δf (0,96 μs a 100 Mbit/s). Lo mismo sucede con todas las tramas R recibidas posteriormente, construyendo así un tren de tramas R con un espacio mínimo entre tramas.

En TP2, una trama esporádica S2 doméstica recibida desde una aplicación alojada por ese nodo está lista para enviarse antes del inicio de la fase esporádica SP y, se retrasa correspondientemente hasta el inicio del período. El final de la fase periódica se puede determinar observando un primer hueco entre tramas de tamaño mínimo desde el inicio de la fase periódica, o calculando la longitud máxima de la fase periódica. Finalmente, en TP3, una trama esporádica Sx se recibe demasiado pronto como consecuencia de algún error y, se retrasa correspondientemente hasta el inicio de una fase esporádica.

La Figura 4 finalmente representa una estructura o arquitectura de nodo de un nodo de conmutación ejemplar. Se supone que cada nodo distingue el tráfico de las tramas R de prioridad alta para las cuales se debe proporcionar un determinismo del tráfico de la trama S de prioridad más baja para las cuales la respuesta flexible en tiempo real es suficiente. Para este efecto, un nodo tiene colas distintas para los dos tipos de tramas, como se muestra en la Figura 4. Ya que los diferentes escritores no pueden acceder simultáneamente a las colas en hardware, en cada puerto de envío se utiliza un par distinto de colas R y S para cada fuente. Por ejemplo, el transmisor TX A en el puerto de envío A es alimentado desde una cola S SBtoA donde las tramas S recibidas a través del puerto B están puestas en cola, una cola S SCtoA, donde las tramas S procedentes de la aplicación alojada están puestas en cola, la cola R RBtoA donde las tramas R recibidas mediante el puerto B están puestas en cola, así como la cola R RCtoA, donde las tramas R de la aplicación alojada están puestas en cola. Cuando el reloj indica el comienzo de un período regular, el tiempo de envío para transmitir una trama R, el transmisor TX A en el puerto A de envío recoge las tramas R de sus colas R RCtoA y RBtoA para la transmisión instantánea.

El método propuesto supone que existe un reloj común para todos los nodos con una precisión de aproximadamente 1 μs , sincronizados a través de medios adecuados, tales como GPS, PPS o preferiblemente IEEE 1588. En este último caso, cada nodo implementa un reloj híbrido que es a la vez ordinario y transparente y que vuelve a sincronizar los relojes locales según IEEE 1588.

Cuando las tramas R se han transmitido, el nodo puede enviar tramas S. Un nodo sabe que la fase crítica en el tiempo finaliza cuando tanto la cola de entrada como la cola de salida son nulas durante un tiempo más largo que el espaciamiento o espacio entre tramas Δf . Esto permite vaciar la cola de tramas S durante la fase esporádica. La fase periódica debe diseñarse de manera que siempre haya lugar suficiente para al menos una trama S.

Finalmente, la presente invención se puede usar sin modificación adicional para acoplar varias redes de comunicación de tipo anillo, por ejemplo, por medio de casillas según la Cláusula 5 de IEC 62439-3 como se detalla en el documento EP-A 2148473. En este caso, las tramas domésticas de la casilla (correspondientes a las tramas de la aplicación alojada en el ejemplo anterior) pertenecen realmente a un anillo contiguo.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método para transmitir tramas en una red de comunicación que interconecta una pluralidad de nodos sincronizados (1-4), en donde los nodos transmiten periódicamente tramas regulares (R1-R4) que comprenden datos críticos en el tiempo, y en donde los nodos transmiten de manera no periódica tramas esporádicas (S2, S3),
5 caracterizado por
 - transmitir, por cada nodo de la pluralidad de nodos, al comienzo de un período de transmisión común (TP1, TP2), una trama regular (R1-R4), que comprende datos críticos en el tiempo
 - recibir, por un nodo (2), tramas regulares (R1, R4, R3) desde un primer nodo (1) contiguo, y reenviar, dentro del mismo período de transmisión, las tramas regulares recibidas hacia un segundo nodo (3) contiguo, y
- 10 - retardar, mediante el nodo, la transmisión de una trama esporádica (S2) hasta que se complete el reenvío de todas las tramas regulares recibidas.
- 2.- El método según la reivindicación 1, que comprende:
 - retardar la transmisión de la trama esporádica hasta un final observado de una fase regular (RP) dedicada a la transmisión de tramas regulares.
- 15 3.- El método según la reivindicación 1 o 2, que comprende:
 - verificar, mediante el nodo y antes de la transmisión de la trama esporádica, si la transmisión de la trama esporádica puede completarse antes del comienzo del siguiente período de transmisión (TP2).
- 4.- El método según la reivindicación 1 o 2, en donde la red de comunicación es un anillo, que comprende:
 - transmitir, mediante un nodo de origen (1), una trama (34a) y una trama (34b) duplicada a un primer y segundo
20 nodos contiguos, respectivamente, siendo identificadas la trama y la trama duplicada por medio de un identificador de redundancia.
- 5.- El método según la reivindicación 4, en donde el identificador de redundancia comprende la longitud de la trama, que comprende:
 - verificar, mediante el nodo y antes de la transmisión de una trama esporádica o una trama esporádica duplicada, si
25 la transmisión de la trama esporádica o de la trama esporádica duplicada puede completarse antes del comienzo del siguiente período de transmisión (TP2), basándose en el identificador de redundancia que comprende la longitud de la trama.
- 6.- El método según la reivindicación 1, que comprende:
 - poner cola, mediante el nodo (2), una trama regular (R1) recibida desde el primer nodo (1) contiguo y que se ha de reenviar al segundo nodo (3) contiguo en una cola regular (RBtoA), y poner en cola, mediante el nodo (2), una trama
30 regular de una aplicación alojada por el nodo (2) y que se ha de transmitir al segundo nodo (3) contiguo en una cola diferente (RCtoA).
- 7.- El método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde la red de comunicación presenta una topología de anillo.
- 35 8.- Una red de comunicación que interconecta una pluralidad de nodos sincronizados (1-4), en donde los nodos transmiten periódicamente tramas regulares (R1-R4) que comprenden datos críticos en el tiempo, y en donde los nodos transmiten de manera no periódica, tramas esporádicas (S2, S3), estando los nodos de la red caracterizados por medios para:
 - transmitir, al comienzo de un período de transmisión común (TP1, TP2), una trama regular (R1-R4), que
40 comprende datos críticos en el tiempo
 - recibir tramas regulares (R1, R4, R3) desde un primer nodo (1) contiguo, y para reenviar, dentro del mismo período de transmisión, las tramas regulares recibidas hacia un segundo nodo (3) contiguo, y
 - retardar la transmisión de una trama esporádica (S2) hasta que se complete el reenvío de todas las tramas regulares recibidas.
- 45 9.- La red de comunicación según la reivindicación 8, caracterizada por que los nodos de la red comprenden medios para retardar la transmisión de la trama esporádica hasta un final observado de una fase regular (RP).
- 10.- La red de comunicación según la reivindicación 8 o 9, caracterizada por que los nodos de la red comprenden medios para verificar, antes de la transmisión de la trama esporádica, si la transmisión de la trama esporádica puede completarse antes del comienzo del siguiente período de transmisión (TP2).

11.- La red de comunicación según la reivindicación 8 o 9, caracterizada por que la red de comunicación es un anillo con una trama (34a) y una trama (34b) duplicada que están siendo enviadas, mediante un nodo de origen (1), a un primer y segundo nodos contiguos, respectivamente, y siendo identificadas la trama y la trama duplicada por medio de un identificador de redundancia.

5 12.- La red de comunicación según la reivindicación 11, caracterizada por que el identificador de redundancia comprende la longitud de la trama, y por que los nodos de la red comprenden medios para verificar, antes de la transmisión de una trama esporádica o una trama esporádica duplicada, si la transmisión de la trama esporádica o de la trama esporádica duplicada puede completarse antes del comienzo del siguiente período de transmisión (TP2), basándose en el identificador de redundancia que comprende la longitud de la trama.

10 13.- La red de comunicación según una de las reivindicaciones 8 a 12, caracterizada por que los nodos pertenecen a los Dispositivos Electrónicos Inteligentes IED de un Control de Procesos PC o sistema de Automatización de Subestaciones SA.

14.- La red de comunicación según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en donde la red de comunicación tiene una topología de anillo.

15

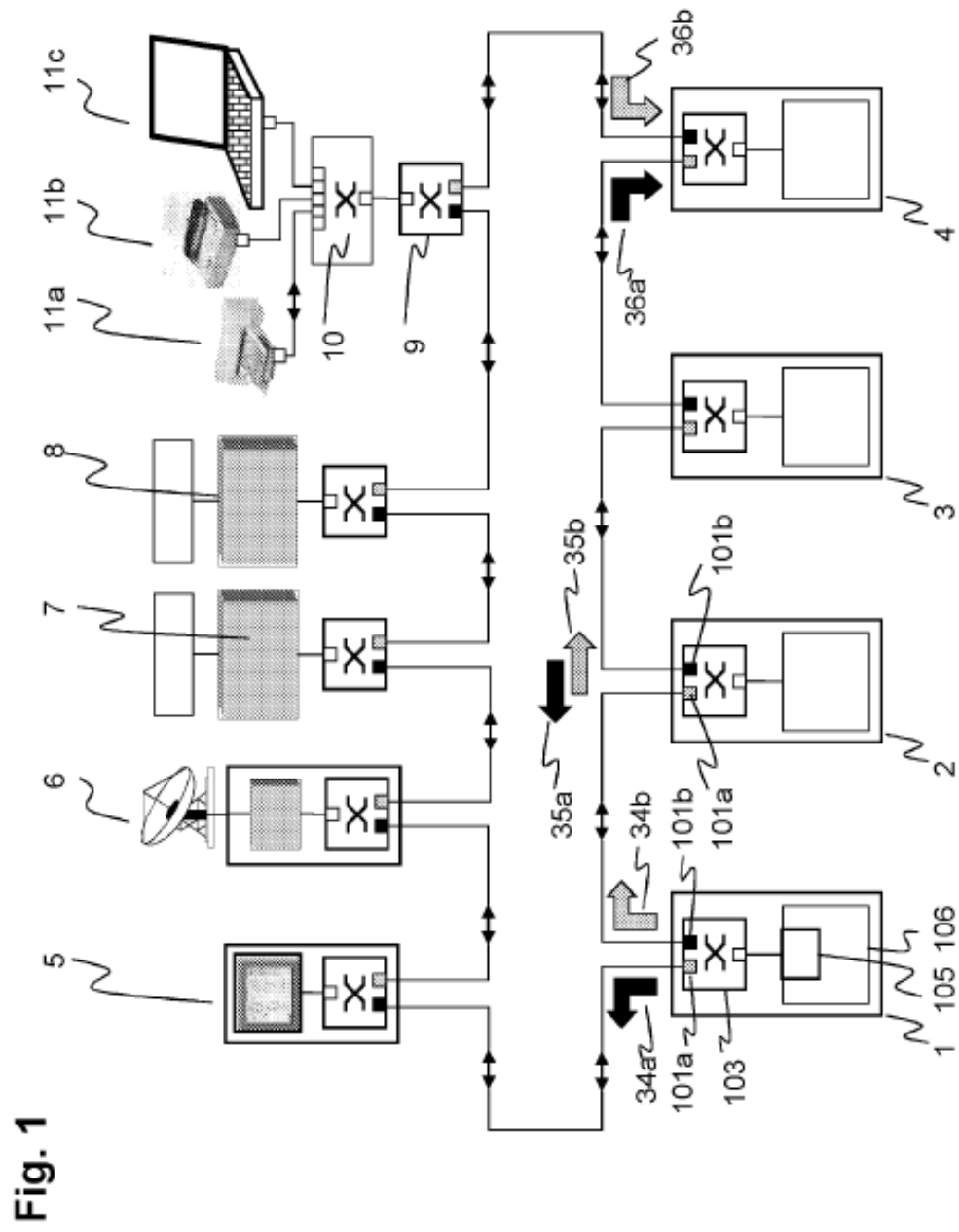


Fig. 2

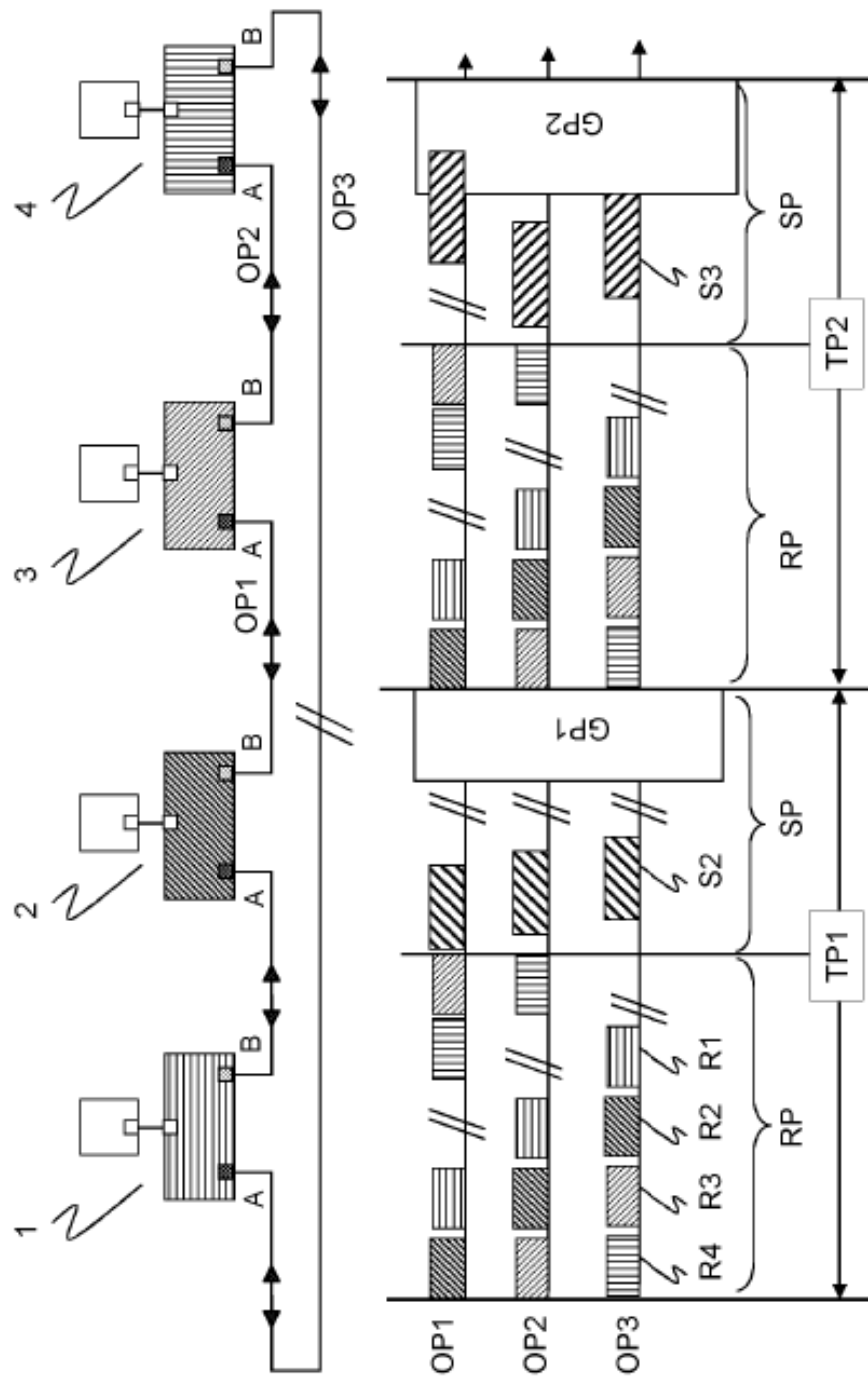


Fig. 3

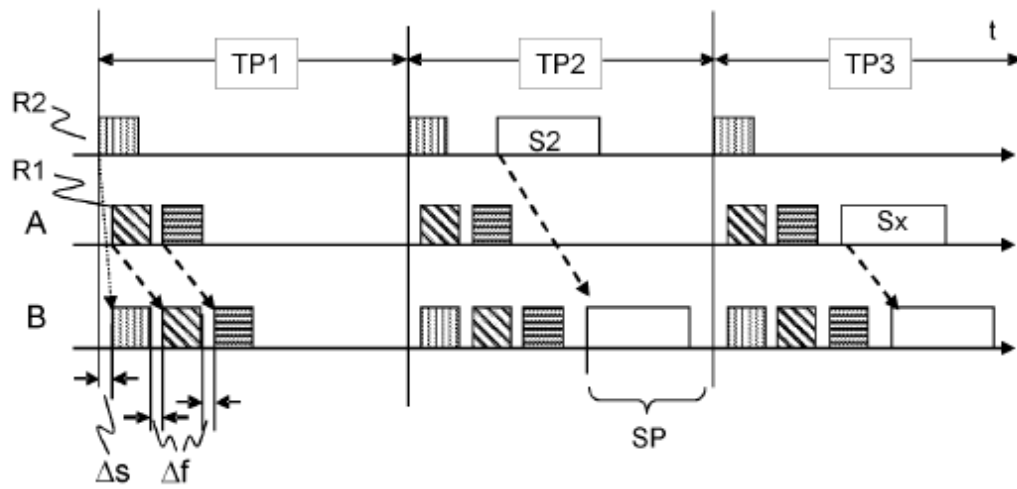


Fig. 4

